

**BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND** 01.10.2004

EPO 19486

**PRIORITY  
DOCUMENT**SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung  
einer Patentanmeldung**

REC'D 13 OCT 2004
WIPO PCT

**Aktenzeichen:** 103 39 438.9**Anmeldetag:** 25. August 2003**Anmelder/Inhaber:** Repower Systems AG, 22335 Hamburg/DE**Bezeichnung:** Turm für eine Windenergieanlage**IPC:** F 03 D 11/00**Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.****München, den 23. September 2004  
Deutsches Patent- und Markenamt  
Der Präsident  
Im Auftrag**

Wallner

# Patentanwälte Schaefer & Emmel

European Patent Attorneys

Dipl. - Phys. Konrad Schaefer

Dipl. - Biol. Dr. Thomas Emmel

Tel: (0) 40-6562051 Fax: -6567919

Gehölzweg 20, D-22043 Hamburg

Commerzbank 22 / 58226 Blz 200 40 000

Postbank 225058 - 208 Blz 200 10 020

25. August 2003

Uns. Zeichen: 03608

Repower Systems AG

---

## Turm für eine Windenergieanlage

---

Moderne landgestützte Windenergieanlagen (WEA) werden überwiegend mit Rohrtürmen, insbesondere Stahlrohrtürmen gebaut, da diese Schalenbauweise genannte Bauform die einfachste und wirtschaftlichste Turmkonstruktion ist. Bei großen Windenergieanlagen mit mehr als 70m Rotordurchmesser und mehr als 80m Turmhöhe sowie einer Leistung von über 1,5 Megawatt ist der erforderliche Turmdurchmesser im unteren Turmbereich eine entscheidende technische Grenze. Durchmesser von mehr als 4,3m sind nur schwer transportierbar, da oft die Durchfahrtshöhe unter Brücken keine größeren Abmessungen zulässt. Weiterhin erfordert die Gesamtlänge und die Masse der Türme eine Aufteilung in mehrere Turmsektionen, welche jeweils über eine Ringflanschverbindung miteinander verschraubt werden. Die großen Ringflanschverbindungen stellen bei Türmen für sehr große WEA (3-5 MW) neben der Transportlogistik einen erheblichen Kostenfaktor dar.

Aufgrund der Transportschwierigkeiten werden deshalb zunehmend Betontürme eingesetzt, die entweder am Aufstellort der WEA gefertigt werden oder aus klei-

nen Einzelteilen bestehen, die miteinander verklebt und verspannt werden. Beide Turmarten sind jedoch in der Herstellung erheblich teurer als Stahlrohrtürme. Aus diesem Grunde werden auch vereinzelt Stahlrohr-/Beton-Hybridtürme gebaut, bei denen der obere Turmteil so weit wie möglich als Stahlrohrturm ausgeführt wird, und nur der untere, einen für den Transport zu großen Durchmesser aufweisende Turmteil, aus Beton gefertigt wird. Bei dieser Bauform hat sich jedoch der Übergang vom Stahl- auf den Betonturm als technisch komplex und kostspielig herausgestellt.

Weiterhin gibt es die als Strommasten weithin bekannten Gittertürme, die bereits für große WEA mit bis zu 114m Höhe und 2 Megawatt Leistung eingesetzt werden. Neben dem Vorteil des problemlosen Transportes weisen diese Türme jedoch den entscheidenden Nachteil auf, dass sie eine deutlich größere horizontale Erstreckung aufweisen als ein vergleichbarer Stahlrohr- oder Betonturm, was häufig Probleme mit dem erforderlichen Abstand zwischen Rotorblattspitze und Turm (Blattfreigang) aufwirft. Biegt sich das Rotorblatt bei Sturm stark durch, besteht die Gefahr der für das gesamte Bauwerk sehr gefährlichen Turmberührung.

Andererseits ermöglicht die größere horizontale Erstreckung des Gitterturms einen insgesamt effektiveren Materialeinsatz. Dieser generell von Fachwerkkonstruktionen bekannte Vorteil erlaubt eine geringere Gesamtmasse und somit einen geringeren Anschaffungspreis. Dieser wirtschaftliche Vorteil wird jedoch in der Regel durch die Kosten der über die 20 Jahre Lebensdauer durchzuführenden Wartung der Gittertürme zunichte gemacht. Beispielsweise müssen die Schraubverbindungen bei den hochdynamisch beanspruchten Türmen der WEA periodisch überprüft werden, eine bei Gittertürmen in der großen Höhe gefährliche, zeitaufwendige, und nur von extrem höhentauglichen Spezialisten durchführbare, körperlich anspruchsvolle Tätigkeit.

Die Aufgabe der Erfindung ist es daher, eine Turmkonstruktion für große Windenergieanlagen zu ersinnen, welche die Nachteile im Stand der Technik, insbesondere in Hinsicht auf die Transportierbarkeit, die Wirtschaftlichkeit, die Wartung und den Blattfreigang beseitigt.

Diese Aufgabe wird durch die erfindungsgemäße Ausführung gemäß Anspruch 1 auf verblüffend einfache Art gelöst. Diese fast naheliegend erscheinende Ausführung ist wohl vor allem deshalb bislang nicht realisiert worden, weil der Übergang von einem Schalenbauwerk (Rohrturm) zu einer Fachwerkkonstruktion (Gitterturm) technisch sehr anspruchsvoll ist. Bei existierenden Gittertürmen für WEA wird deshalb nur unmittelbar unter der Maschinengondel ein relativ kurzes rohrförmiges Bauteil, der sogenannte „Topf“ eingesetzt, welches den Übergang zu der mit einem Ringflansch versehenen Maschinengondel ermöglicht. Dort wird der Übergang im allgemeinen dadurch realisiert, dass die in der Regel vier Eckstiele des Gitterturms mittels Laschenverbindungen direkt außen auf den Topf geschraubt werden. Dieses Konzept ist deshalb möglich, weil der Turm direkt unter der Gondel nur relativ geringen Biegebeanspruchungen unterliegt. Somit muss in diesem Fall im wesentlichen nur der horizontal (für den Turm als Querkraft wirkende) Rotorschub übertragen werden. Weiter unten, wo der Turm vornehmlich durch das von dem Rotorschub über den Hebelarm der Turmlänge wirkende Biegemoment beansprucht wird, ist eine derartige Konstruktion nicht möglich.

Gemäß Anspruch 2 wird dieses Problem auf eine besonders vorteilhafte Weise gelöst, indem zwischen dem oberen und dem unteren Turmabschnitt ein Übergangsstück ausgebildet wird, das so gestaltet wird, dass die horizontale Erstreckung im unteren Bereich erheblich größer ist als die Erstreckung im oberen Bereich. Die somit entstehenden erheblichen Knicke in der Außenkontur des Turms widersprechen eigentlich den gängigen Konstruktionsregeln, da insbesondere bei

der Schalenbauweise jegliche Art von Knicke zu Spannungsüberhöhungen führen, die die tragende Struktur schwächen. Mit den in den Unteransprüchen genannten Maßnahmen ist es jedoch möglich, diese unbestreitbar vorhandenen Nachteile der beiden Knickstellen auszumerzen oder die Knickstellen vollständig zu vermeiden, um die Vorteile der erfindungsgemäßen Hybridbauweise ausschöpfen zu können.

Im Stand der Technik sind derartige Knicke bei der Schalenbauweise nur bei sehr kleinen Windenergieanlagen bekannt, bei denen die Spannungsoptimierung noch keine Rolle gespielt hat. Stattdessen stand dort die Fertigungstechnik im Vordergrund, die es so ermöglichte, zwei günstig auf dem Markt verfügbare Rohrdurchmesser auf einfache Art und Weise miteinander zu verbinden. Bei derartigen kleinen Maschinen (Leistung unterhalb von 300 kW) wurden teilweise sogar vorhandene kurze Rohrtürme mithilfe stark konischer Übergangstücke auf Unterteile aus Rohren mit größerem Durchmesser gestellt.

Bei modernen Windenergieanlagen mit Leistungen größer ein Megawatt sind im Stand der Technik nur Rohrtürme mit leichten Knicken (maximal  $5 - 8^\circ$ ) wirtschaftlich, wobei sich der Knick grundsätzlich relativ dicht unter der Maschinengondel befindet. Diese z. B. aus der EP0821161 bekannte, „doppelt konischer Rohrturm“ genannte Bauweise, ermöglicht hauptsächlich einen großen Befestigungsflansch an der Verbindungsstelle zur Maschinengondel und dient weiterhin der Anpassung der Eigenfrequenz des Bauteils an die Erfordernisse.

Gemäß Anspruch 3 ist es von besonderem Vorteil, den Übergang zwischen oberem und unterem Turmabschnitt (ggf. direkt) unterhalb der horizontalen Ebene auszubilden, die von der Rotorblattspitze bei senkrecht nach unten stehendem Rotorblatt definiert wird. Diese Maßnahme ermöglicht alle im Stand der Technik vorhandenen Nachteile auf einfache Art und Weise zu vermeiden.

Im oberen Turmabschnitt wird durch die Ausführung als Rohrturm den Forderungen nach schlanker Bauweise mit unerreichter Wirtschaftlichkeit genüge getan, aber auch die einfache Wartbarkeit mit wettergeschütztem Aufstieg und Arbeitsbereich ist für die große Höhe ein entscheidender Vorteil. Sobald der Rohrturm an seine Transportgrenzen stößt, wird im unteren Turmabschnitt unterhalb der Ebene der Blattspitze der Gitterturm eingesetzt. Dieser kann mit seiner erheblich größeren horizontalen Erstreckung erhebliche Materialeinsparungen und somit eine größere Wirtschaftlichkeit ermöglichen. Das Wartungsproblem ist im unteren Turmteil weniger entscheidend, da im Stand der Technik Hubsteiger verfügbar sind, die die Zugänglichkeit für das Wartungspersonal im unteren Turmbereich auf einfache und vor allem sichere und komfortable Weise ermöglicht.

Ein weiterer Nachteil der Gittertürme, das im Winter bei Vereisung durch die große Oberfläche der Fachwerkkonstruktion erhebliche Zusatzmassen durch Eisansatz berücksichtigt werden müsse, wird stark abgemindert, da die Zusatzmasse jetzt nur noch an dem statisch und dynamisch weit weniger kritischen unteren Turmteil wirkt.

Um die Transportierbarkeit des Übergangstück zu ermöglichen, ist es von besonderem Vorteil, den oberen Bereich des Übergangstücks so auszubilden, dass es bei der Montage der Windenergieanlage am Aufstellort mit dem oberen Turmabschnitt, vorzugsweise mittels einer lösbaren Verbindung, verbindbar ist.

Ebenso ist es von besonderem Vorteil, den unteren Bereich des Übergangstücks so auszubilden, dass das Übergangsstück mit jedem Eckstiel des Gitterturms mittels einer vorzugsweise lösbaren Verbindung verbindbar ist.

Weiterhin kann es vorteilhaft sein, zusätzlich zu den Eckstielen auch einige Streben mit dem unteren Bereich des Übergangstücks zu verschrauben.

Die Flanschverbindung zum Rohrturm ist als besonders kritisch einzustufen, wie die Erfahrungen mit Stahlrohr-/Betonhybriddtürmen zeigt.

Eine besonders vorteilhafte Ausführungsform der Erfindung sieht es daher vor, dass die lösbare Verbindung zwischen dem oberen Bereich des Übergangsstücks und dem oberen Turmabschnitt einen an dem Übergangsstück als Verbindungsstelle vorzugsweise innenliegenden zweireihigen Schraubenflansch und einen hierzu passenden, an dem oberen Turmabschnitt angeordneten T-Flansch aufweist.

Die Ausstattung dieser Verbindungsstelle mit einem groß dimensionierten zweireihigen Flansch bietet zudem den Vorteil, dass der Flansch gleichzeitig auch als Beulsteife für die in der Knickstelle der Außenkontur auftretende Kraftumlenkung dient. Somit wird die durch den Knick verursachte Spannungsüberhöhung zum großen Teil auf effektive Weise abgebaut.

Der untere Bereich des Übergangsstücks wird vorteilhafter Weise so ausgestaltet, dass er Verbindungsstellen für Laschenverbindungen zu den Eckstielen des Gitterturms aufweist.

Da der untere Gitterturm durch den oberen Rohrturm durch eine erhebliche Zusatzmasse belastet wird, ist es von ganz erheblichem Vorteil, die Eckstiele des Gittermasten als Hohlprofile auszuführen, um ein Ausknicken durch die Gewichtslast des Rohrturms zu verhindern.

Das Übergangsstück wird weiterhin besonders vorteilhaft so ausgebildet, dass die zulässige Transporthöhe durch die Bauhöhe des Übergangsstücks eingehalten wird. Die max. mögliche Transporthöhe aufgrund der begrenzten Durchfahrtshö-

he unter Brücken beträgt in Deutschland in der Regel 4,3m, auf ausgewählten Strecken sind auch 5,5m hohe Güter noch transportierbar.

Ist bei sehr großen Windenergieanlagen (z.B. 3 - 5 MW Leistung) aufgrund der Abmessungen ein Transport des Übergangsstück in einem Stück nicht möglich, sieht eine Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung eine Ausführung des Übergangsstücks in mindestens zwei, vorzugsweise an der Verbindungsstelle lösbar miteinander verbundenen Teilstücken als besonders vorteilhaft vor. Die Verbindung kann z.B. vorteilhaft durch Schraubflansche oder Laschenverbindungen erfolgen, aber auch ein Verschweißen der Teilstücke auf der Baustelle kann eine sehr wirtschaftliche Lösung sein, wenn die Verbindungsstellen in wenig beanspruchte Zonen gelegt werden.

Das Übergangsstück kann hierbei besonders vorteilhaft durch eine vertikale Teilungsebene in mindestens zwei Teilstücke geteilt werden. Eine Aufteilung in eine der Anzahl der Eckstiele des Gitterturms entsprechende Zahl von identischen Teilstücken ist aus fertigungstechnischen Gründen als besonders wirtschaftlich anzusehen.

Eine andere vorteilhafte Ausgestaltung der Erfindung sieht eine Teilung des Übergangsstücks in mindestens einer horizontalen Teilungsebene vor.

Selbstverständlich können bei besonders großen WEA auch beide Teilungsmöglichkeiten miteinander kombiniert werden.

Um die maximal zulässige Transporthöhe möglichst vollständig auszuschöpfen, sieht eine vorteilhafte Ausgestaltung der Erfindung die Ausführung des Übergangsstücks oder des Teilstücks des Übergangsstücks derart vor, dass es mit Hilfe



von Adapterstücken, welche auf die vorhandenen oder eigens hierzu vorgesehenen Verbindungsstellen montiert werden, als Kesselbrücke transportierbar ist.

Je nach Abmessung und Gewicht des Übergangstücks oder der Teilstücke des Übergangsstücks ist hierbei auch der Transport von mehreren direkt oder indirekt (über Adapterstücke) miteinander verbundene Übergangs- bzw. Teilstücke in einer Kesselbrücke vorgesehen. Dieses bietet beispielsweise die Möglichkeit, die Teilstücke eines in der Bauhöhe zu hohen, zweiteiligen Übergangsstück an den (halben) Ringflanschen miteinander zu verschrauben und dann liegend unter Einhaltung der zulässigen Transporthöhe als Kesselbrücke zu transportieren.

Besonders effizient lässt sich das Übergangsstück nach einer erfindungsgemäßen Ausführungsform gestalten, wenn es eine Wandung aufweist und in Schalenbauweise ausgeführt ist.

Insbesondere ist es von besonderem Vorteil, wenn die Grundform des Übergangstücks im wesentlichen einem stark konischem Rohr entspricht, dessen mittlere Neigung der Wandung zur Mittelachse größer ist als die Neigung der Wandung des unteren Bereichs des Rohrturms und/oder als die Neigung des oberen Bereichs der Eckstiele des Gitterturms.

Die mittlere Neigung ist hierbei definiert als der Winkel zwischen der Vertikalen (oder auch der Mittellinie) und einer gedachten Linie von der maximalen horizontalen Erstreckung im oberen Bereich des Übergangstücks zu der maximalen horizontalen Erstreckung im unteren Bereich.

Um die erfindungsgemäße starke Aufweitung der horizontalen Erstreckung des Turms im Übergangstück in Hinsicht auf den Kraftfluss besonders vorteilhaft zu

realisieren, sollte die mittlere Neigung der Wandung des Übergangsstücks zur Mittelachse mindestens  $15^\circ$ , vorzugsweise mehr als  $25^\circ$  aufweisen.

Bei dem konischen Rohr als Grundform des Übergangsstücks ist an beliebige Rohrquerschnitte gedacht, also dreieckige, viereckige, vieleckige (z.B. 16eckig) oder auch runde Querschnitte. Weiterhin umfasst die Erfindung ausdrücklich konische Rohre, deren Querschnittsform sich über die Länge ändert.

Eine besonders vorteilhafte Ausgestaltung sieht es hierbei vor, dass der Querschnitt des Übergangsstücks von einem im wesentlichen runden Querschnitt im oberen Bereich fließend in einen im wesentlichen mehreckigen, vorzugsweise drei- oder viereckig Querschnitt im unteren Bereich übergeht. Im wesentlichen rund kann hierbei auch vieleckig, z.B. 16-eckig bedeuten.

Erfolgt die Verbindung zum Rohrturm über einen Ringflansch, so kann über diesen der Übergang von einem beispielsweise 16-eckigen Übergangsstück zum runden Rohrturm ausgeglichen werden.

Wird zumindest der untere Teil des Rohrturms auch als Vieleck ausgeführt, kann die Anbindung auch problemlos über eine Laschenverbindung erfolgen. Bei unterschiedlicher Neigung der Seitenflächen des Übergangsstücks zur Wandung des Rohrturms ist in diesem Fall ggf. noch eine Beulsteife vorzusehen.

Zur Material- und Gewichtseinsparung ist es von besonderem Vorteil, die Wandung des Übergangsstücks mit mindestens einer Aussparung zu versehen. Durch geschickt gestaltete Aussparungen ist es insbesondere möglich, den Kraftfluss gegenüber der Version ohne Aussparungen zu verbessern.

Dieses gilt insbesondere für torbogenförmige Aussparungen, die sich von Eckstiel zu Eckstiel erstrecken.

Eine weitere Optimierung des Kraftflusses wird durch wulst- oder türzargenförmige Aussteifungen an den Rändern der torbogenförmigen Aussparungen erzielt.

Zur Erhöhung der Steifigkeit des Übergangstücks ist es von Vorteil, wenn im unteren Bereich des Übergangstücks horizontale Träger zwischen den Eckstielen des Gitterturms ausgebildet sind, die die benachbarten Eckstiele und/oder die (diagonal) gegenüberliegenden Eckstiele miteinander verbinden.

Diese horizontalen Träger können einstückig mit dem Übergangstück verbunden sein, oder auch besonders vorteilhaft über die Laschenverbindung zwischen Übergangstück und Eckstielen befestigt werden.

Ebenfalls zur Erhöhung der Steifigkeit des Übergangstücks sieht eine weitere vorteilhafte Ausgestaltung der Erfindung vor, dass bei einer Ausführung mit mindestens vier Eckstielen Rippen ausgebildet sind, die die Verbindungslinien von (diagonal) gegenüberliegenden Eckstielen aussteifen.

In einer besonders vorteilhaften Ausführungsform wird das Übergangstück als Gussbauteil ausgeführt.

Die Gestaltungsfreiheit von Gußbauteilen erlaubt eine Formgebung so, dass durch sanfte, gerundete Übergänge die Spannungsüberhöhungen in den Knickstellen der geschweißten Stahlbauvariante vermieden werden.

Eine besonders kraftflussgerechte Ausführung wird erzielt, wenn die Wandung des Übergangstücks im vertikalen Schnitt betrachtet konvex gekrümmt ist, da so ein besonders weicher Übergang vom Flansch im oberen Bereich zu den Eckstielen im unteren Bereich erzielbar ist.

Insbesondere ist die Neigung der Verbindungsstellen im unteren Bereich des Übergangstücks besonders vorteilhaft so auszubilden, dass sie der Neigung des oberen Bereichs der Eckstiele des Gitterturms entspricht.

Besonders vorteilhaft ist die Gusskonstruktion auch bei mehrteiligen Übergangsstücken mit vertikalen Teilungsebenen, da dann z.B. 4 identischen Gussteilen zu einem Übergangsstück zusammengefügt werden (Stückzahleffekt). Für die Gussvariante bevorzugte Gusswerkstoffe sind beispielsweise Stahlguss oder Kugelgraphit-Guss, beispielsweise GGG40.3.

Wird der erfindungsgemäße Turm in geringer Stückzahl gebaut, ist die Ausführung des Übergangstücks als Schweißkonstruktion von besonderem Vorteil, da die hohen Formbaukosten der Gusskonstruktion entfallen.

Da häufig bei konventionellen Türmen der Übergang zum Betonfundament ebenfalls mit T-Flanschen ausgeführt wird, sieht es eine vorteilhafte Weiterbildung der Erfindung vor, mithilfe des erfindungsgemäßen Hybrid-Konzeptes eine modulare Turmbaureihe zur Verfügung zu stellen, bei der ein existierender Rohrturm (z.B. ein 80m-Turm für eine 1,5 bis 2MW Maschine) mittels des erfindungsgemäßen Übergangstücks auf unterschiedliche, beispielsweise 30, 50 oder 70m hohe Unterteile in Gitterturmbauweise zu stellen, um so je nach Standort Turmgesamthöhen von 110, 130 oder 150m zu erzielen. Auf diese Weise lassen sich auch bisher unwirtschaftliche Binnenlandstandorte für die wirtschaftliche Windenergienutzung erschließen.

Weitere Merkmale, Aspekte und Vorteile der Erfindung werden zum Teil durch die nachfolgende Beschreibung offenbart und sind zum Teil durch die Beschreibung nahegelegt oder ergeben sich bei der praktischen Verwendung der Erfindung. Zwei Ausführungsformen der Erfindung werden hinreichend im Detail be-

schrieben. Es versteht sich, dass andere Ausführungsformen verwendet werden und Änderungen gemacht werden können, ohne den Bereich der Erfindung zu verlassen. Die folgende, ausführliche Beschreibung ist daher nicht in einem beschränkten Sinn zu sehen, insbesondere können auch Details der beiden Ausführungen beliebig ausgetauscht werden.

Die Erfindung soll anhand der nachfolgenden Abbildungen im Detail erläutert werden.

Dabei zeigt:

Fig. 1: WEA im Stand der Technik

Fig. 2: Gesamtansicht der erfindungsgemäßen Turmausführung

Fig. 3: Eine Detaildarstellung einer Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Übergangsstück

Fig. 4: Eine Detaildarstellung einer weiteren Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Übergangsstück

Fig. 5: Die Abwicklung der Wandung des Übergangsstücks aus Fig. 4

Fig. 1 zeigt die Darstellung einer Windenergieanlage im Stand der Technik, bei der als tragender Turm (10) zwei Turmvarianten, ein Rohrturm (10A) und ein Gitterturm (10B) übereinander projiziert sind. Der Turm (10) trägt eine um die vertikale Turmachse drehbar befestigte Maschinengondel (30), auf welcher ein Rotor (20) mit mindestens einem Rotorblatt (22) mit einer Blattspitze (23) um eine im wesentliche horizontale Achse drehbar gelagert ist. Dargestellt ist hier eine Ausführung als Dreiblattrotor, wobei die horizontale Ebene der Rotorblattspitze (23) in der unteren Position mit einer Strichlinie (25) markiert ist.

Neben der Rotorlagerung enthält die Maschinengondel (30) üblicher Weise einen Generator, ggf. ein Getriebe, ein Windnachführsystem, verschiedene elektrische Komponenten und weitere Hilfssysteme. Diese Elemente sind aus Übersichtlichkeitsgründen nicht dargestellt.

Der Rohrturm (10A) weist aus Transportgründen mehrere Flanschverbindungen 12A auf. Diese Flanschverbindungen werden im Stand der Technik als einseitige, in der Regel nach innen weisende Ringflansche ausgeführt. Nur der unterste Flansch als Übergang zum Fundament (18A) wird im Stand der Technik als T-Flansch (zweireihiger, nach innen und außen weisender Flansch) ausgeführt.

Bei der Ausführungsvariante als Gitterturm (10B) wird der Übergang zum ringförmigen Flansch der Maschinengondel üblicherweise durch ein relativ kurzes, Topf genanntes Übergangstück (14B) realisiert. Der Gitterturm ruht auf in der Regel für jeden Eckstiel (11B) einzeln ausgeführten Fundamenten (18B).

Durch die übereinander projizierten Turmvarianten Rohrturm (10A) und Gitterturm (10B) wird in der Ebene der Rotorblattspitzen (25) sehr deutlich veranschaulicht, dass der Abstand der Blattspitze zum Turm (Blattfreigang) beim Gitterturm (10B) sehr viel geringer und somit kritischer ist als beim Rohrturm (10A).

Fig. 2 zeigt die Gesamtansicht einer Windenergieanlage mit einer erfindungsgemäßen Turmausführung. Wie bei Fig. 1 bezeichnet (20) den Rotor und (30) die Maschinengondel. Der Turm (40) besteht im unteren Abschnitt (41) aus einem Gitterturm (42), welcher in der gezeigten Ausführung mit vier Eckstielen (43) und einer Vielzahl von Diagonalstreben (44) ausgestattet ist, und im oberen Abschnitt (46) aus einem im wesentlichen rohrförmigen Rohrturm (47).

Direkt unter der horizontalen Ebene (25) der Rotorblattspitze (23) befindet sich ein Übergangsstück (50), dessen horizontale Erstreckung im unteren Bereich (70) erheblich (um mehr als 50%) größer ist als im oberen Bereich (60).

Der obere Turmabschnitt (46) weist im unteren Bereich eine (geringe) Neigung der Rohrwandung zur Vertikalen auf, welche mit  $\alpha$  bezeichnet ist. Analog ist die Neigung des oberen Bereichs der Eckstiele (43) des Gitterturms (42) im unteren Turmabschnitt (41) mit  $\beta$  bezeichnet.

Die mittlere Neigung des Übergangsstücks (50), welche definiert ist als der Winkel zwischen der Vertikalen und einer gedachten Linie von der maximalen horizontalen Erstreckung im oberen Bereich (60) zu der maximalen horizontalen Erstreckung im unteren Bereich (70), wird mit  $\gamma$  bezeichnet. In der dargestellten, besonders vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung ist  $\gamma$  erheblich größer sowohl als die Neigung ( $\beta$ ) des unteren Turmabschnitts (41) als auch die Neigung ( $\alpha$ ) des oberen Turmabschnitts.

Fig. 3 zeigt eine Detaildarstellung einer möglichen Ausführungsvariante des erfindungsgemäßen Turms mit einem Übergangsstück als mehrteilige Gußkonstruktion. Rechts von der Symmetrielinie ist die Seitenansicht dargestellt, links erfolgt die Darstellung im (vertikalen) Schnitt. Der untere Turmabschnitt wird von dem abgeschnitten dargestellten Gitterturm (42) gebildet, welcher im wesentlichen aus vier Eckstielen (43) und Diagonalstreben (44) besteht. Der obere Turmabschnitt wird von dem abgeschnitten dargestellten Rohrturm (47) mit seiner Wandung (48) gebildet.

Eine erfindungsgemäße Ausführung des Übergangsstück (50) ist als Gusskonstruktion in Schalenbauweise mit einer Wandung (52) und torbogenförmigen Aussparungen (53) ausgeführt. Das Übergangsstück ist im oberen Bereich (60)

über eine Flanschverbindung (61) mit dem Rohrturm (47) verbunden, und im unteren Bereich (70) über vier Laschenverbindungen (71) mit den Eckstielen (43) der Gitterturms (42).

Im oberen Bereich (60) des Übergangstücks (50) geht die Wandung (52) fließend in einen ringförmigen, zweireihigen Schraubenflansch (64) über. Die Wandung (48) der Rohrturms (47) ist mit einem T-Flansch (62) verschweißt, welcher über einen inneren Schraubenkreis (66) und einen äußeren Schraubenkreis (68) mit dem Flansch (64) des Übergangstücks (50) verschraubt ist. Die innere Verschraubung (66) ist als im Stahlbau übliche Durchsteckverschraubung ausgeführt, die äußere Verschraubung (68) ist im dargestellten Beispiel als Sacklochverschraubung ausgebildet, weil auf diese Weise eine für den Kraftfluß besonders günstige Wanddickenverteilung der Wandung (52) ermöglicht wird. Selbstverständlich kann die Wandung (52) des Übergangstücks (50) auch etwas weiter nach außen herausgezogen werden, so dass auch die äußere Verschraubung (68) als Durchsteckverschraubung ausführbar ist, das Übergangsstück (50) wird dann jedoch etwas schwerer und somit teurer.

Im unteren Bereich (70) geht die Wandung (52) in vier Verbindungsstellen (72) zu den Eckstielen (43) über. Die Verbindung erfolgt als Laschenverbindung (71) über eine äußere Lasche (76) und eine innere Lasche (78), welche mit einer Vielzahl von Schrauben mit der Verbindungsstelle (72) sowie dem Eckstiel (43) verschraubt werden. Da die Neigung der Verbindungsstelle (72) und die Neigung des oberen Bereichs des Eckstiels (41) gleich sind, können ebene Bleche als Verbindungsblaschen (76, 78) verwendet werden.

Im Hinblick auf eine Reduzierung der Anzahl der Teile sieht eine weitere Ausführungsform der Erfindung eine direkte Verschraubung der Eckstiele (43) mit den Verbindungsstellen (72) des Übergangstücks (50) vor. In dieser Ausfüh-



rungsform ist jedoch der Kraftfluß vom Eckstiel (43) in die Wandung (52) des Übergangsstücks (50) etwas ungünstiger.

Zur Aussteifung des unteren Bereichs (70) des Übergangsstücks (50) werden horizontale Träger (45) zwischen den vier Eckstielen (43) befestigt. Diese Träger können wahlweise die benachbarten Eckstiele (43) oder auch die gegenüberliegenden Eckstiele (43), und somit die Diagonalen des Gitterturms (42) miteinander verbinden. Gegebenenfalls können auch beide Möglichkeiten gemeinsam genutzt werden, um eine besonders steife und somit vorteilhafte Konstruktion zu ermöglichen.

Die Anbindung der Diagonalstreben (44) sowie der horizontalen Träger (45) an die Laschenverbindung (71) ist aus Vereinfachungsgründen nicht dargestellt. Derartige Verbindungen sind aber im Stand der Technik, z.B. bei der Verbindung mehrteiliger Eckstiele, hinreichend bekannt.

Bei einem äußeren Durchmesser des T-Flansches (62) des Rohrturms (47) von 4,3 m weist das dargestellte Übergangsstück (50) eine Transporthöhe von ebenfalls etwa 4,3 m bei einer unteren Transportbreite von etwa 7 m auf. Da diese Abmessungen nur eingeschränkt transportierbar sind, sieht eine bevorzugte Ausführungsform der Erfindung eine mehrteilig Ausbildung des Übergangsstücks (50) vor. Hierzu ist das Übergangsstück (50) durch eine vertikale Teilungsebene in ein linkes Teilstück (57) und ein rechtes Teilstück (58) aufgeteilt. Die Teilstücke (57, 58) werden mit Schraubenflanschen (56) miteinander verschraubt. Alternativ zum Schraubenflansch (56) sieht eine weitere vorteilhafte Weiterbildung der Erfindung Laschenverbindungen zur Verbindung der Teilstücke (57, 58) des Übergangsstücks (50) vor.

Durch die Teilung reduzieren sich die Transportabmessungen bei liegendem Transport der beiden Teilstücke (57, 58) auf eine Transporthöhe von etwa 3,5 m

bei einer Breite von 4,3 m, womit innerhalb Deutschlands ein problemloser Transport möglich ist.

Eine besonders vorteilhafte Ausbildung der Erfindung sieht auch eine Vierteilung des Übergangstücks symmetrisch zur Mittellinie vor, sodass entweder noch geringere Transportabmessungen erreicht werden können, oder auch noch größere Übergangsstücke gut transportierbar bleiben. Bei erheblich größeren Übergangsstücken ist es erfindungsgemäß vorgesehen, das Übergangstück zusätzlich in einer horizontalen Ebene zu teilen.

Die dargestellte Ausführung des Übergangstücks als Gusskonstruktion hat den Vorteil, dass die Wandung (52) problemlos mit veränderlicher Wandstärke ausgeführt werden kann, wodurch eine sehr effiziente Materialausnutzung ermöglicht wird. Die Bereiche hoher Beanspruchung, wie beispielsweise der konvex gekrümmte Übergang zum Ringflansch (64) oder die als Laschenverbindung (71) ausgebildete Verbindungsstelle (72) zum Eckstiel (43) des Gitterturms (42) können mit größeren Wandstärken ausgeführt werden als Bereiche geringerer Beanspruchung. Ebenso kann die Begrenzung der torbogenförmigen Aussparung (54) mit einer beispielsweise wulstartig ausgeführten Aussteifung versehen sein. Des weiteren ermöglicht die Gusskonstruktion einen für den Kraftfluss optimierten, gleitenden Übergang von dem runden Querschnitt im oberen Bereich (60) des Übergangsstücks (50) zu dem im dargestellten Fall viereckigen Querschnitt im unteren Bereich (70) des Übergangsstücks (50).

Fig. 4 zeigt die Detaildarstellung einer weiteren erfindungsgemäßen Ausführungsvariante eines Übergangstücks als Schweißkonstruktion. Dargestellt ist im unteren Teil der Fig. 4 eine Aufsicht von oben auf das Übergangsstück (50) sowie im oberen Teil ein vertikaler Schnitt durch das Übergangsstück entlang der Schnittlinie A-B.

Da der grundsätzliche Aufbau sehr ähnlich dem in Fig. 3 dargestellten und ausführlich erläuterten Ausführung ist, wird im wesentlichen nur auf die Unterschiede eingegangen.

Die Wandung (52) des Übergangstücks (50) wird von einem Blech konstanter Dicke gebildet, welches im oberen Bereich eingewalzt wird und im unteren Bereich (70) zur Anpassung an die Geometrie der Eckstiele (43) gekantet wird.

Die mittlere Neigung ( $\gamma$ ) des Übergangstücks (50), welche definiert ist als der Winkel zwischen der Vertikalen und einer gedachten Linie von der maximalen horizontalen Erstreckung im oberen Bereich (60) zu der maximalen horizontalen Erstreckung im unteren Bereich (70) ist erheblich größer als die Neigung der Eckstiele (43) des Gitterturms (42), und natürlich auch größer als die des Rohrturms, da dieser im dargestellten Ausführungsbeispiel zylindrisch ausgebildet ist.

Im Hinblick auf eine einfache Ausführung der Schweißkonstruktion weist die Verbindungsstelle (72) im unteren Bereich (70) des Übergangstücks (50) eine von der Neigung der Eckstiele (43) unterschiedliche Neigung auf. Die Verbindung erfolgt daher über ausreichend stark dimensionierte, gebogene Laschen (76), welche die Umlenkung des Kraftflusses aufnehmen müssen. Die gebogenen Laschen können aus dickem und gegebenenfalls verschweißtem Stahlblech ausgeführt sein, aber eine erfindungsgemäße Weiterbildung sieht auch die Ausführung der Laschen als Gussbauteile vor.

Da die Kraftumlenkung die Laschenverbindungen nach innen (zur Turmachse) verformt, werden stark dimensionierte horizontale Träger (45) diagonal zwischen je zwei einander gegenüberliegende Eckstiele (43) vorgesehen. (Aus Vereinfachungsgründen ist im unteren Teil der Fig. 4 nur ein derartiger Träger (45) gestrichelt dargestellt.) Durch diese Bauweise lässt sich die Umlenkung des Kraftflusses

ses sicher beherrschen und es ergibt sich eine sehr wirtschaftliche, aber etwas schwerere Konstruktion als bei der Gusskonstruktion.

Ebenso wie bei der Gusskonstruktion sieht eine vorteilhafte Weiterbildung der Erfindung eine Aussteifung der torbogenförmigen Aussparungen (53) vor, die besonders vorteilhaft in Form von einem eingeschweißten Blechstreifen (55) (wie bei einer Türzarge) ausgeführt wird.

Die Vorteile der Ausführung als Schweisskonstruktion sind die günstigeren Herstellungskosten bei geringen Stückzahlen, das einfachere Prüfverfahren bei den Baubehörden.

Fig. 5 zeigt die Abwicklung der Wandung des erfindungsgemäßen Übergangsstücks aus Fig. 4. Die strukturell sehr günstige Formgebung lässt sich auf sehr einfache Weise durch die aus Stahlblech in einem Stück oder vorzugsweise im dargestellten Fall des Gitterturms mit vier Eckstielen in 4 Stücken (durch gestrichelte Linien angedeutet) ausgebrannten Bleche fertigen. Das oder die Bleche werden hierzu konisch eingewalzt, im Übergangsbereich zu den Eckstielen ist zusätzliches Abkanten von Vorteil, um einen besseren Übergang zu den Eckstielen zu gewährleisten. Stehen keine ausreichend großen Walzmaschinen zur Verfügung, kann auch die im wesentlichen runde Form am Übergang zum oberen Flansch durch eine Vielzahl kleiner Abkantungen erzeugt werden.

25. August 2003  
Uns. Zeichen: 03608

Repower Systems AG

---

Turm für eine Windenergieanlage

---

Patentansprüche:

1. Turm (40) für eine Windenergieanlage, die eine, auf dem Turm (40) vorzugsweise drehbar angeordnete Maschinengondel (30), und einen an der Maschinengondel um eine im wesentlichen horizontale Achse drehbar angeordneten Rotor (20), mit mindestens einem Rotorblatt (22) mit einer Blattspitze (23) aufweist, mit einem unteren Turmabschnitt (41) und einem oberen Turmabschnitt(46), wobei die Turmabschnitte (41, 46) in unterschiedlicher Bauweise ausgeführt sind, dadurch gekennzeichnet, dass der untere Turmabschnitt (41) als Gitterturm (42) ausgebildet ist, der mindestens drei Eckstiele (43) (dreibeinig) aufweist, und der obere Turmabschnitt (46) als im wesentlichen rohrförmiger Rohrturm (47) ausgebildet ist, wobei der obere Turmabschnitt mindestens ein Sechstel des Turmes bildet.
2. Turm (40) für eine WEA nach vorstehendem Anspruch, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen dem unteren (41) und dem oberen Turmabschnitt (46) ein Übergangsstück (50) angeordnet ist, das einen unteren Bereich (70) aufweist, der mit dem unteren Turmabschnitt (41) verbindbar ist und einen

oberen Bereich (60), der mit dem oberen Turmabschnitt (46) verbindbar ist, wobei der untere Bereich (70) so ausgebildet ist, dass dessen größte horizontale Erstreckung mindestens 30%, vorzugsweise mehr als 50% größer ist als eine horizontale Erstreckung des oberen Bereichs (60).

3. Turm (40) für eine WEA nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Turm (40) so ausgebildet ist, dass das Übergangsstück (50) unterhalb der horizontalen Ebene (25) angeordnet ist, die von der Blattspitze (23) bei senkrecht nach unten stehendem Rotorblatt (22) definiert wird.
4. Turm (40) für eine WEA nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der obere Bereich (60) des Übergangsstücks (50) so ausgebildet ist, dass das Übergangsstück (50) mit dem oberen Turmabschnitt (46) mittels einer lösbaren Verbindung (61) verbindbar ist.
5. Turm (40) für eine Windenergieanlage, dadurch gekennzeichnet, dass der untere Bereich (70) des Übergangsstücks (50) so ausgebildet ist, dass das Übergangsstück (50) mit jedem Eckstiel (43) des Gitterturms (42) mittels einer lösbaren Verbindung (71) verbindbar ist.
6. Turm (40) für eine WEA nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die lösbare Verbindung (61) zwischen dem oberen Bereich (60) des Übergangsstücks (50) und dem oberen Turmabschnitt (46) einen, an dem Übergangsstück (50) als Verbindungsstelle angeordneten zweireihigen Schraubenflansch (64) und einen an dem oberen Turmabschnitt (46) angeordneten T-Flansch (62) aufweist.

7. Turm (40) für eine WEA nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der untere Bereich (70) des Übergangstücks (50) Verbindungsstellen (72) für Laschenverbindungen (71) zu den Eckstielen (43) des Gitterturms (42) aufweist.
8. Turm (40) für eine WEA nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Bauhöhe des Übergangstück (50) durch die Durchfahrthöhe unter Brücken begrenzt wird und zwischen 2 m und 6 m, vorzugsweise zwischen 4 m und 5,5 m liegt.
9. Turm (40) für eine WEA nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Übergangsstück (50) aus mindestens zwei, vorzugsweise an der Verbindungsstelle (56) lösbar miteinander verbundenen, Teilstücken (57, 58) ausgebildet ist.
10. Turm (40) für eine WEA nach vorstehendem Anspruch, dadurch gekennzeichnet, dass das Übergangsstück (50) mindestens eine vertikale Teilungsebene aufweist.
11. Turm (40) für eine WEA nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass das Übergangsstück (50) mindestens eine horizontale Teilungsebene aufweist.
12. Turm (40) für eine WEA nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Übergangsstück (50) oder ein Teilstück (57, 58) des Übergangsstücks (50) so gestaltet ist, dass es mit Hilfe von Adapterstücken, welche auf die vorhandenen (56, 64, 72) oder eigens hierzu vorgesehenen Verbindungsstellen montiert werden, als Kesselbrücke transportierbar ist.

13. Turm (40) für eine WEA nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Übergangstück (50) oder die Teilstücke (57, 58) des Übergangstücks (50) so gestaltet ist (sind), dass der Transport von mehreren direkt oder indirekt miteinander verbundenen Übergang- (50) bzw. Teilstücken (57, 58) in einer Kesselbrücke durchführbar ist.
14. Turm (40) für eine WEA nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Übergangstück (50) eine Wandung (52) aufweist und in Schalenbauweise ausgeführt ist.
15. Turm (40) für eine WEA nach vorstehendem Anspruch, dadurch gekennzeichnet, dass die Grundform des Übergangstücks (50) im wesentlichen einem stark konischem Rohr entspricht, wobei die mittlere Neigung ( $\gamma$ ) der Wandung (52) des konischen Rohrs zur Mittelachse größer ist, als die Neigung ( $\alpha$ ) der Wandung (48) des unteren Bereichs des Rohrturms (47) und/oder als die Neigung ( $\beta$ ) des oberen Bereichs der Eckstiele (43) des Gitterturms (42).
16. Turm (40) für eine WEA nach vorstehendem Anspruch, dadurch gekennzeichnet, dass die mittlere Neigung ( $\gamma$ ) der Wandung (52) des Übergangstücks (50) zur Mittelachse mindestens  $15^\circ$ , vorzugsweise mehr als  $25^\circ$  aufweist.
17. Turm (40) für eine WEA nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Übergangstück (50) von einem im wesentlichen runden Querschnitt im oberen Bereich (60) fließend in einen mehreckigen, vorzugsweise drei- oder viereckigen Querschnitt im unteren Bereich (70) übergeht.



18. Turm (40) für eine WEA nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Wandung (52) des Übergangstücks (50) mit mindestens einer Aussparung (53) versehen ist.
19. Turm (40) für eine WEA nach vorstehendem Anspruch, dadurch gekennzeichnet, dass die mindestens eine Aussparung (53) torbogenförmig ist, und sich die torbogenförmige Aussparung (53) von Eckstiel (43) zu Eckstiel (43) erstreckt.
20. Turm (40) für eine WEA nach vorstehendem Anspruch, dadurch gekennzeichnet, dass die mindestens eine torbogenförmige Aussparung mit wulst- oder türzargenartigen Aussteifungen (55) versehen ist.
21. Turm (40) für eine WEA nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass im unteren Bereich (70) des Übergangstücks (50) horizontale Träger (45) zwischen den Eckstielen (43) des Gitterturms (42) ausgebildet sind, die die benachbarten Eckstiele (43) und/oder die (diagonal) gegenüberliegenden Eckstiele (43) miteinander verbinden .
22. Turm (40) für eine WEA nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Gitterturm (42) mindestens vier Eckstiele (43) aufweist und das Übergangsstück (50) Rippen aufweist, die die Verbindungslinien von gegenüberliegenden Eckstielen (43) (Diagonalen) aussteift.
23. Turm (40) für eine WEA nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Übergangsstück (50) als Gussteil ausgebildet ist.

24. Turm (40) für eine WEA nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Wandung (52) des Übergangstücks (50) im vertikalen Schnitt konvex gekrümmt sind.
25. Turm für eine WEA nach vorstehendem Anspruch, dadurch gekennzeichnet, dass die Neigung der Verbindungsstellen (72) im unteren Bereich (70) des Übergangstücks (50) der Neigung des oberen Bereichs der Eckstiele (43) des Gitterturms (42) entspricht.
26. Turm (40) für eine WEA nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Übergangsstück (50) als Schweißkonstruktion ausgebildet ist.
27. Modulares Turmsystem für eine Windenergieanlage, vorzugsweise nach einem der vorstehenden Ansprüche, bestehend aus einem oberen im wesentlichen rohrförmigen Turmabschnitt, sowie verschiedenen, als Gitterturm ausgeführten unteren Turmabschnitten, dadurch gekennzeichnet, dass die Turmgesamthöhe durch unterschiedliche Bauhöhen des Gitterturms variabel ausführbar ist.

# Patentanwälte Schaefer & Emmel

European Patent Attorneys

Dipl. - Phys. Konrad Schaefer

Dipl. - Biol. Dr. Thomas Emmel

Tel:(0)-40-6562051 Fax:-6567919

Gehöhlweg 20, D-22043 Hamburg

Commerzbank 22 / 58226 Blz 200 40 000

Postbank 225058 - 208 Blz 200 10 020

25. August 2003

Uns. Zeichen: 03608

Repower Systems AG

---

## Turm für eine Windenergieanlage

---

### Zusammenfassung:

Ein Turm (40) für eine Windenergieanlage, die eine, auf dem Turm (40) vorzugsweise drehbar angeordnete Maschinengondel (30), und einen an der Maschinengondel um eine im wesentlichen horizontale Achse drehbar angeordneten Rotor (20), mit mindestens einem Rotorblatt (22) mit einer Blattspitze (23) aufweist, mit einem unteren Turmabschnitt (41) und einem oberen Turmabschnitt (46), wobei die Turmabschnitte (41, 46) in unterschiedlicher Bauweise ausgeführt sind, ist dadurch gekennzeichnet, dass der untere Turmabschnitt (41) als Gitterturm (42) ausgebildet ist, der mindestens drei Eckstiele (43) (dreibeinig) aufweist, und der obere Turmabschnitt (46) als im wesentlichen rohrförmiger Rohrturm (47) ausgebildet ist, wobei der obere Turmabschnitt mindestens ein Sechstel des Turmes bildet.

FIG. 1

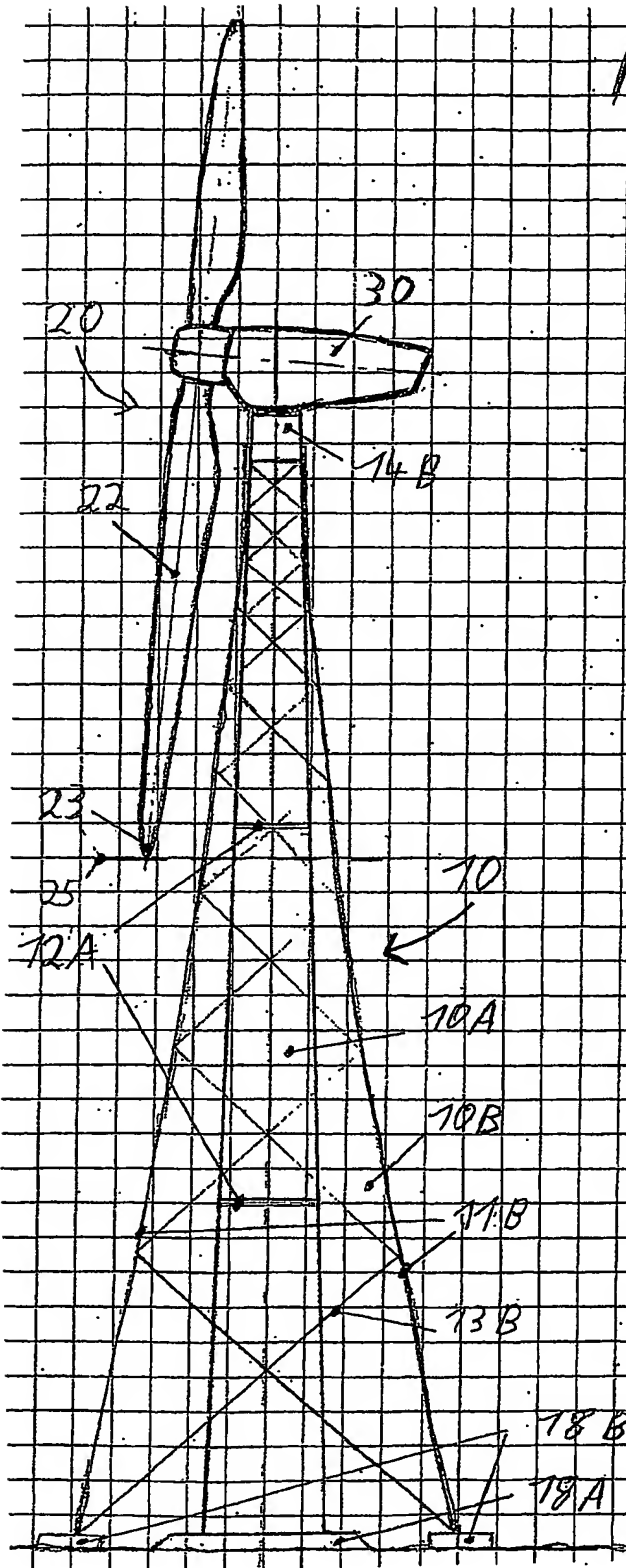


FIG. 2

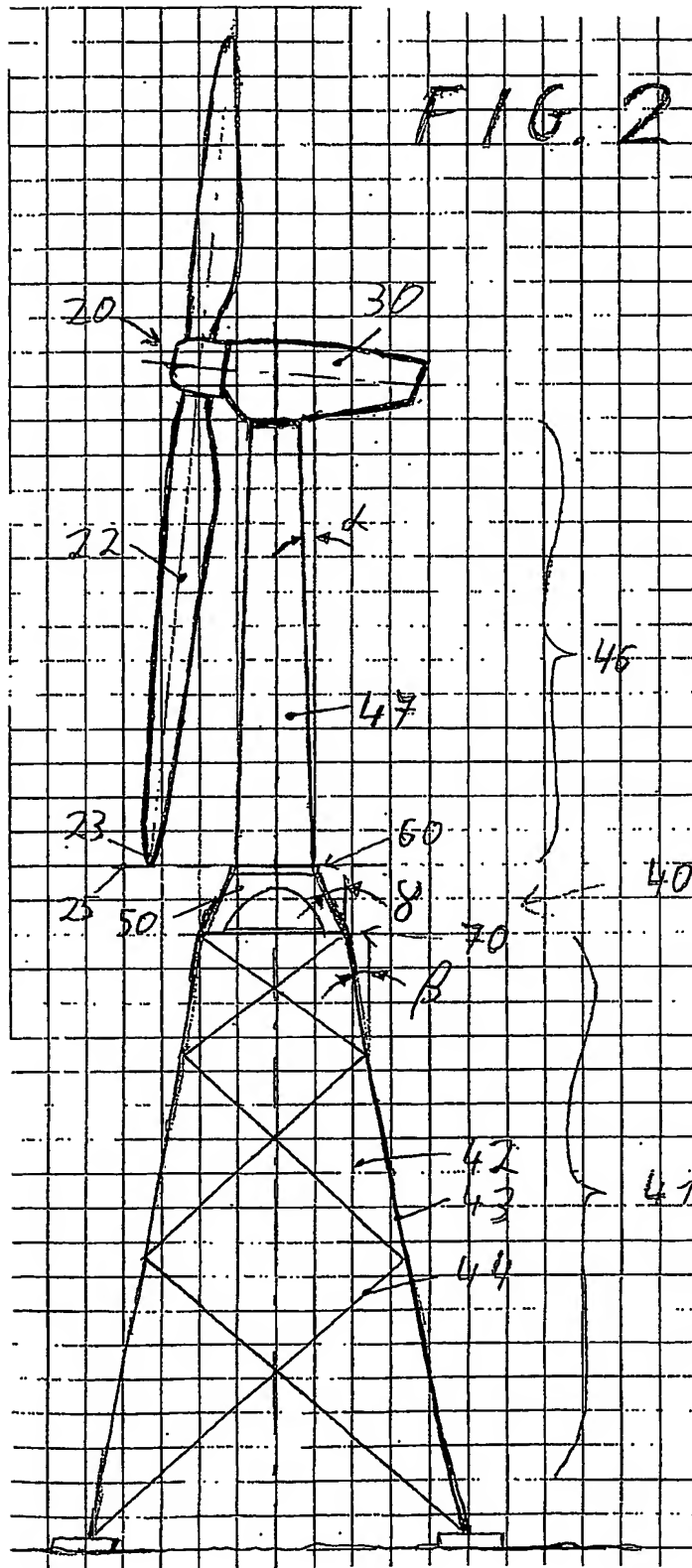


FIG. 3

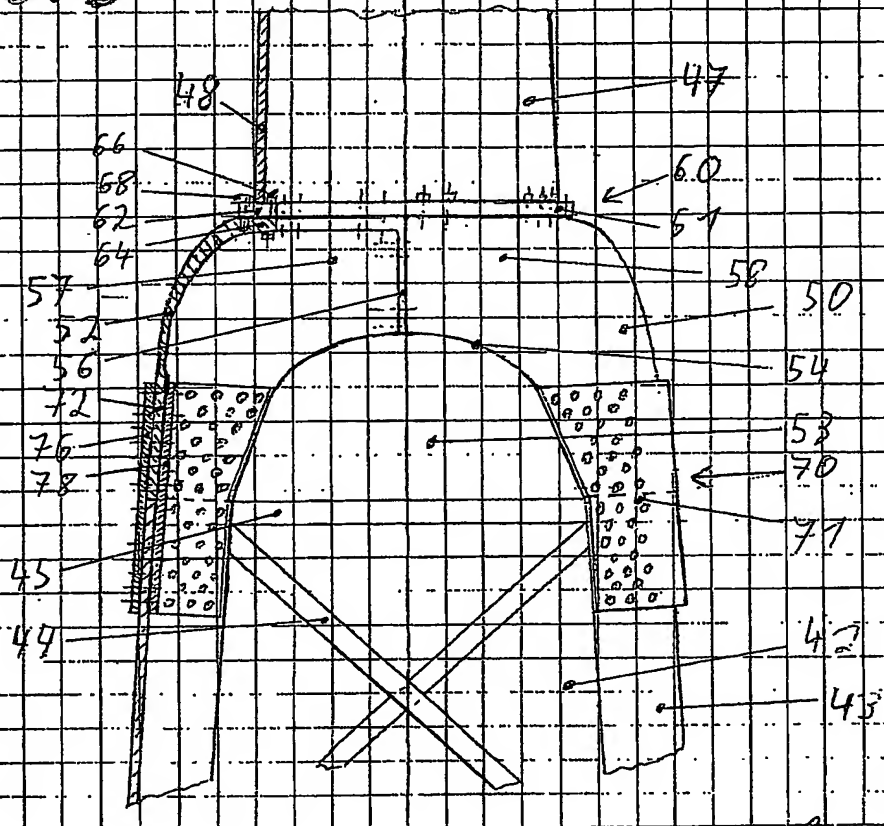


FIG. 4

SCHNITT A-B

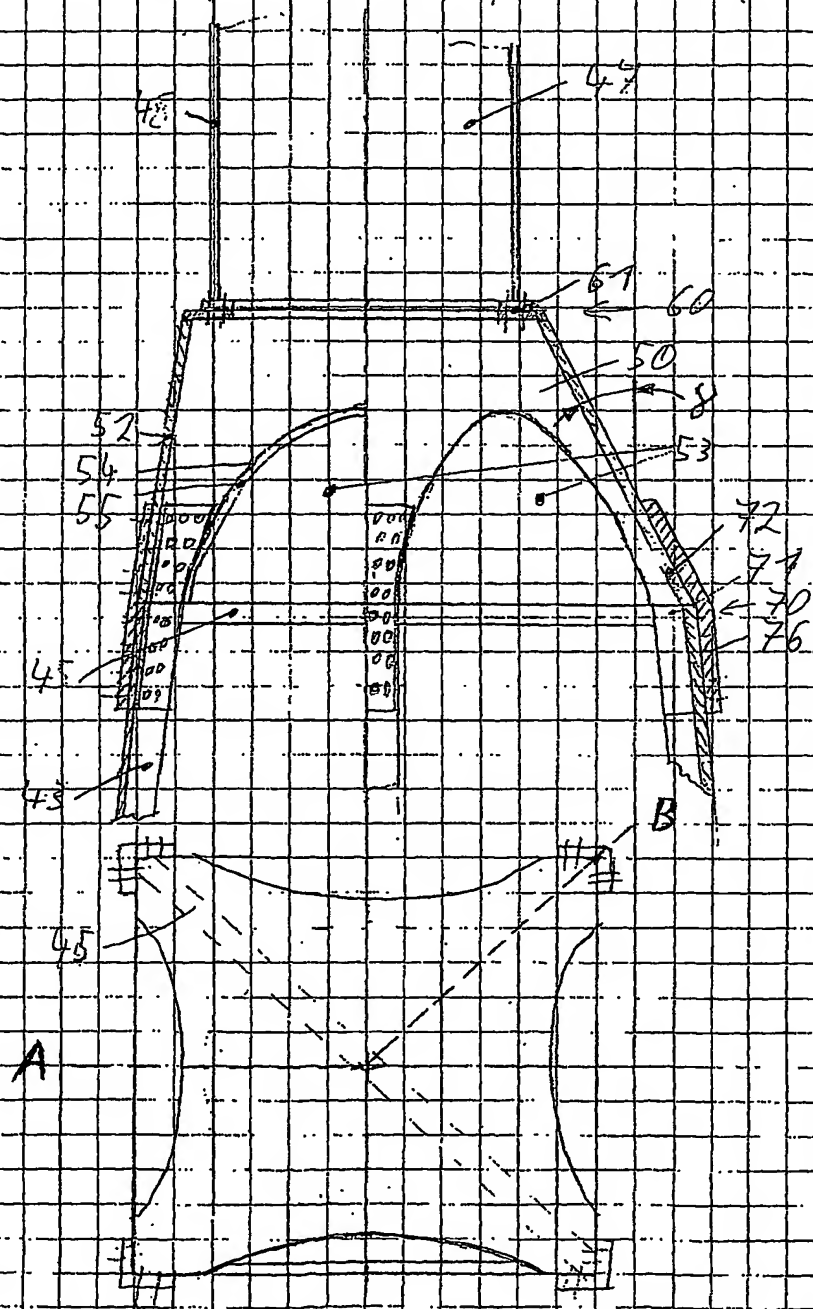
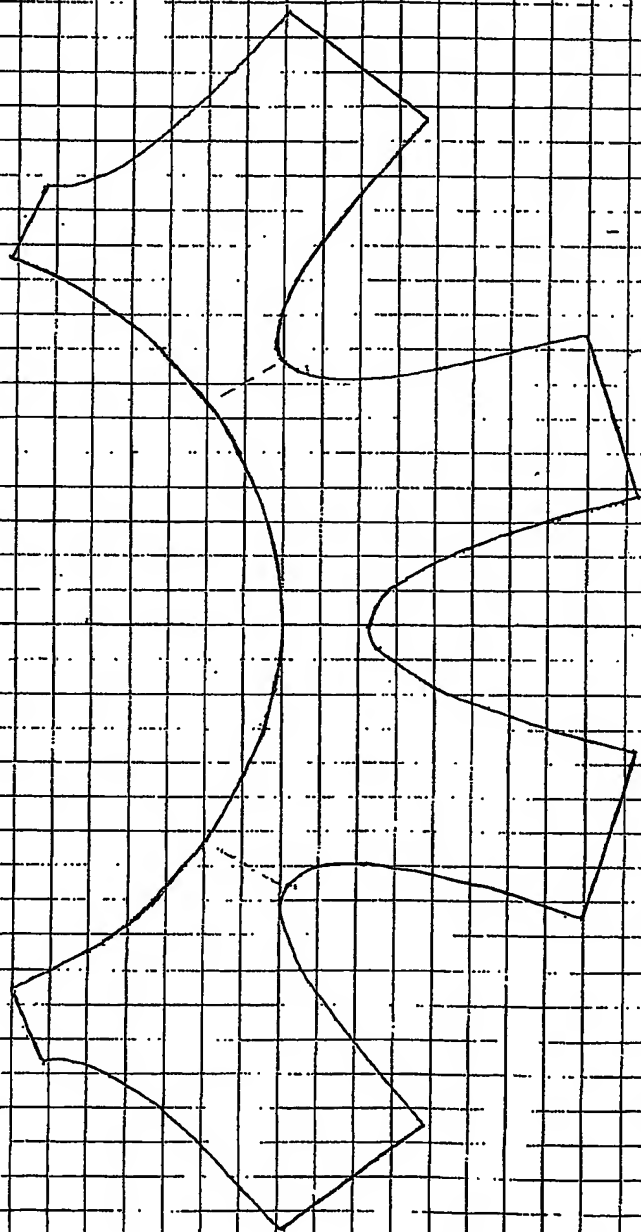
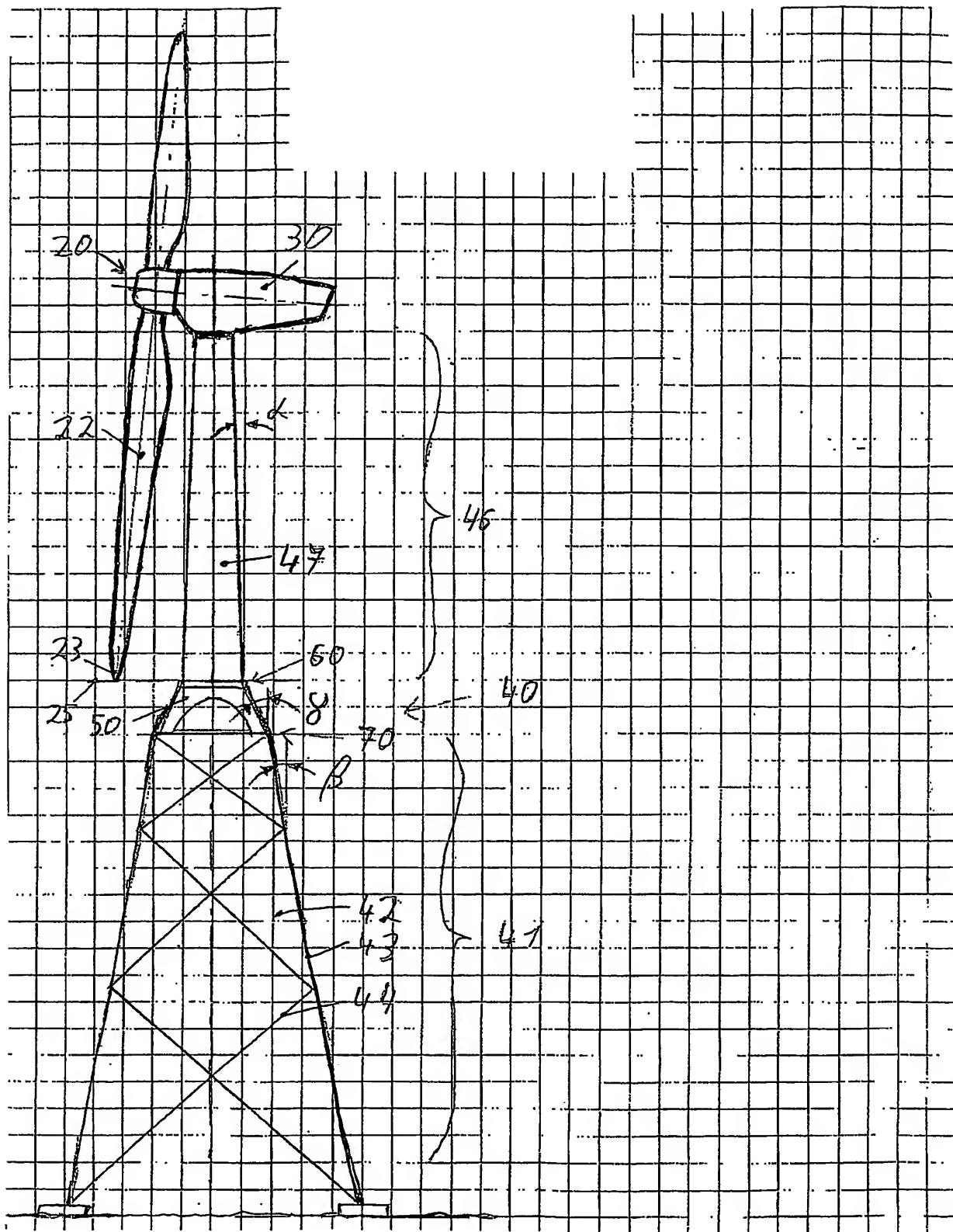


FIG. 5







Zeichnung zur Zusammenfassung